

PENGARUH KONSENTRASI *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) DAN RASIO C : N : P SEBAGAI SUMBER NUTRISI TERHADAP KINERJA *DUAL CHAMBER MICROBIAL FUEL CELLS* (DCMFCs)

Agustin Wijayanti *), Ganjar Samudro,ST,MT**) Sri Sumiyati,ST,M.Si**)

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang
Jalan Prof. Sudharto,SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

*) E-mail : agustinwijayanti@outlook.com

ABSTRACT

Environmental friendly waste treatment technology has been widely used as an alternative waste treatment and production of alternative energy such as electricity. One application of the technology is Dual Chamber Microbial Fuel Cells (DCMFCs). In this research, DCMFCs reactor used artificial wastewater with variations COD concentration of 400 mg / l, 800 mg / l, and 1200 mg / l by adding variations ratio nutrient C : N : P of 100 : 5 : 1, 100 : 10 : 1, 100 : 15 : 1. The purpose, were analyzed the influence of COD concentration and the ratio C : N : P for DCMFCs and determine the optimum conditions of COD concentration and ratio C : N : P for DCMFCs. Reactor anode and cathode are separated by a salt bridge was conducted for 48 days running. The result, optimum removal efficiency COD concentration 400 mg/l of 89,307 %, COD 800 mg/l of 86,629%, and COD 1200 mg/l of 76,921 %. Optimum ratio C : N : P 100 : 10 : 1 of all the variations COD concentration. Optimum power density of 199,9 mW/m² in COD 400 mg/l ratio 100 : 10 : 1.

Keywords : Dual Chamber Microbial Fuel Cells (DCMFCs), COD, ratio C:N:P

Pendahuluan

Air limbah yang mengandung bahan organik akan meningkatkan populasi mikroorganisme sehingga menaikkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan merusak lingkungan. Menurut Ghangrekar *et.,al*, (2003) upaya penerapan teknologi pengolahan limbah ramah lingkungan telah banyak digunakan sebagai bentuk pendekatan baru untuk pengolahan limbah dengan produksi energi bersih berkelanjutan. *Microbial Fuel Cell* (MFC) sebagai salah satu alternatif untuk pengadaan biolistrik dan mampu mengolah limbah cair yang mengandung bahan organik tinggi secara simultan. Menurut Kim *et.,al*, (2004) MFC adalah reaktor yang didalamnya memiliki proses biokimia yang mengubah sebagian besar energi kimia yang tersimpan dalam bahan organik menjadi listrik sehingga mengurangi jumlah *sludge* yang berlebih. Menurut Pant, Ghangrekar *et.,al*, (2003) MFC dalam skala laboratorium tanpa membran mampu mereduksi COD lebih dari 90 % setelah 55 hari dengan maksimum daya produksi 6,73 mW/m².

Penelitian lain menurut Li *et.,al*, (2011)

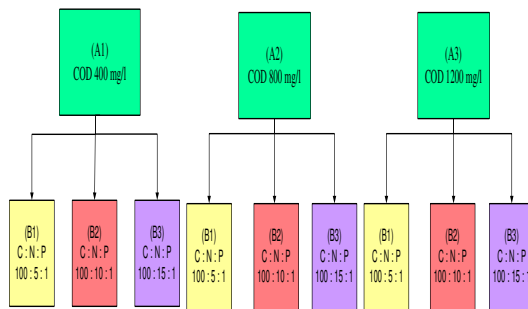
juga membuktikan bahwa peningkatan konsentrasi beban COD (600 mg/l – 1000 mg/l), menyebabkan peningkatan efisiensi penyisihan COD dan produksi listrik. Peningkatan performa dari kinerja MFC pemberian unsur *Carbon* (C) sebagai substrat, Nitrogen (N) dan Fosfor (P) sebagai nutrisi. Menurut Davies (2005) sumber N dan P berpengaruh pada pertumbuhan bakteri. Nitrogen (N) berpengaruh pada produksi protein sel bakteri, komponen dinding sel, dan *nucleic acid*. Sumber *phosphours* (P) sebagai siste pembentukan energi dalam bentuk ATP. Menurut Widjaja dan Sunarko (2008) penentuan rasio C : N : P sebesar 100 : 10 : 1 pengolahan limbah reaktor *batch* terjadi penurunan COD tertinggi sebesar 83,8 % dan pada percobaan secara kontinyu peyisihan COD tertinggi sebesar 70% pada rasio 100 : 10 : 1. Penggunaan DCMFCs untuk meneliti pengaruh beberapa variasi variabel yang diberikan sebagai pengolahan limbah cair dalam penentuan kondisi optimal pada sistem kinerja DCMFCs sebagai pengolahan limbah dan produksi listrik untuk meningkatkan performa kinerja DCMFCs.

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

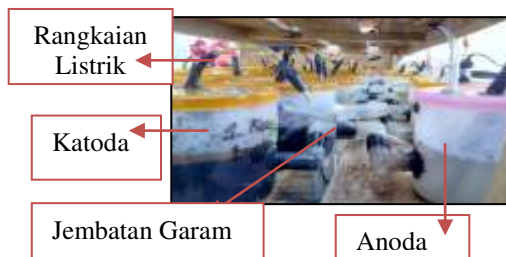
**) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

Metodologi Penelitian Rancangan Penelitian

Penelitian DCMFCs ini menggunakan variasi Konsentrasi COD dan rasio C : N : P. C sebagai konsentrasi COD, N dalam KNO_3 , P dalam KH_2PO_4 . Desain reaktor dalam bentuk *dual-chamber*.



Gambar 1. Rancangan Penelitian



Gambar 2. Reaktor DCMFCs

Kompartemen anoda dan katoda dihubungkan menggunakan jembatan garam. Volume kerja 0,6 liter, waktu detensi 10 jam, dan debit 1 ml/menit. Diameter dan tinggi reaktor 11,5 cm. Reaktor dioperasikan pada dua tahap yaitu; tahap *seeding* - aklimatisasi menggunakan reaktor *batch* dan tahap pengoperasian reaktor tahap *running* menggunakan sistem kontinu selama 48 hari.

Pembuatan Limbah Artifisial

Limbah buatan ini merupakan limbah yang berasal dari asam asetat dan glukosa. Konsentrasi COD 400 mg/l, 800 mg/l, dan 1200 mg/l didapatkan dengan proses *trial and error* dari pencampuran bahan asam asetat (ml) dan glukosa (gram) kemudian dilarutkan dalam aquades dan dinetralkan pH-nya terlebih dahulu kemudian diambil sampel limbah untuk diuji CODnya.

Persiapan Unsur Nutrien N dan P

Komposisi substrat terdiri dari $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ dan CH_3COOH sebagai sumber karbon,

KNO_3 sebagai sumber nitrogen (N) dan KH_2PO_4 sebagai sumber fosfor (P). Dengan variasi rasio C : N : P sebesar 100 : 5 : 1, 100 : 10 : 1, dan 100 : 15 : 1. Takaran masing-masing unsur nutrien ditentukan berdasarkan persamaan reaksi stokiometri dari masing-masing unsur berdasarkan kandungan N pada KNO_3 dan P pada KH_2PO_4 terhadap konsentrasi COD dalam mg/l. Setelah didapatkan berat dari masing-masing senyawa kemudian dilarutkan dalam limbah artifisial dan diaduk agar larutan homogen.

Seeding dan Aklimatisasi

Menurut Titiresmi (2007) tujuan dari proses *seeding* atau pembenihan untuk mendapatkan populasi mikroorganisme yang mencukupi untuk memulai proses penelitian. Berdasarkan penelitian Indriyati (2003) *seeding* dan aklimatisasi dilakukan bersamaan karena menggunakan pembenihan langsung dalam reaktor. Sumber bakteri yang telah dicampur dengan limbah artifisial sesuai perbandingan 1/3 volume limbah artifisial dan 2/3 volume limbah *septic tank* diisikan langsung ke dalam reaktor sampai batas volume kerja 600 ml. Mikroorganisme untuk *seeding* diambil dari tangki septik. Konsentrasi COD diberikan bertahap 3 kali sampai nilai variasi konsentrasitotal. Menurut Helard D (2010) penambahan konsentrasi dilakukan secara bertahap bertujuan untuk menghindari terjadinya pembebanan secara tiba-tiba (*shock loading*) yang dapat mematikan mikroba dalam reaktor anoda. Tahap aklimatisasi ini dinyatakan berhasil dan selsesai jika efisiensi penurunan COD tidak lebih dari 10% dengan dasar pada penelitian Herald (2010).

Running

Tahap *running* dilakukan dengan sistem aliran kontinu dari reservoir limbah. Konsentrasi COD pada reservoir dikondisikan dengan konsentrasi 400 mg/l, 800 mg/l, dan 1200 mg/l.

Hasil dan Pembahasan

Uji Pendahuluan dan Karakteristik Limbah

Untuk mendapatkan COD 400 mg/l, 800 mg/l, dan 1200 mg/l adalah menggunakan proses *trial and error* uji COD dengan

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

**) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

limbah artifisial sampai mendapatkan 400 mg/l, 800 mg/l, dan 1200 mg/l.

Tabel 1 Hasil Uji Coba Pembuatan Limbah Artifisial

Keterangan	COD 400 mg/l	COD 800 mg/l	COD 1200 mg/l	Satuan
Hasil COD				
<i>Trial and Error</i>	420,8	763,0	1176,6	mg/l
BOD	142	160	166	mg/l
Rasio BOD/COD	0,338	0,209	0,141	mg/l

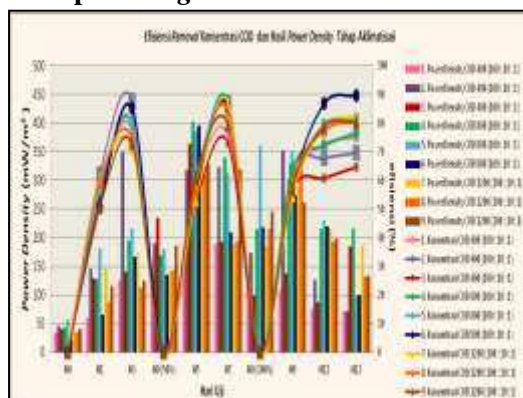
Kemudian dilakukan pengecekan konsentrasi COD campuran *septic tank* dengan limbah artifisial.

Tabel 2. Hasil COD Campuran Limbah Artifisial dengan Limbah *Septic Tank*

No	Keterangan	Satuan	Hasil
1	COD artifisial	mg/l	410,071
2	COD <i>septic tank</i>	mg/l	1541,571
3	COD campuran (artifisial dan <i>septic tank</i>)	mg/l	565,929

Konsentrasi COD awal yang digunakan untuk *seeding* dan aklimatisasi adalah 565,929 mg/l

Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi



Grafik 1. Efisiensi Removal COD dan Hasil Power Density Aklimatisasi - Running

Grafik 1 menunjukkan nilai efisiensi *removal* konsentrasi COD dengan hasil *power density* tahap aklimatisasi dengan

belum dilakukan variasi rasio C : N : P pada aklimatisasi. Rasio C : N : P yang diberikan adalah 100 : 10 : 1 berdasarkan Widjaja dan Sunarko (2008) bahwa rasio 100 : 10 : 1 optimum pada pengolahan limbah yang memberikan pengaruh efisiensi penurunan COD paling besar. Naik turunnya konsentrasi COD pada grafik 1 dikarena penambahan bertahap pada *seeding* dan aklimatisasi pada setiap 3 hari dengan 50% dan 100 % COD akhir yang diharapkan.

Pengukuran awal H1 limbah mengalami penurunan konsentrasi COD terendah 279,357 mg/l dengan efisiensi 50,637 % pada COD 1200 mg/l dan paling besar mengalami penurunan mencapai konsentrasi 213,643 mg/l dengan efisiensi 62,249 % pada COD 400 mg/l. Pengecekan konsentrasi COD dilakukan 2 hari sekali, hari ke-4 dilakukan penambahan 50% konsentrasi COD dari konsentrasi total kemudian dilakukan pengecekan didapat efisiensi akhir penambahan 50 % COD pada rentang 72,880 % - 87,812 %. Setelah penambahan 100% konsentrasi COD penurunan konsentrasi COD dilihat sampai fluktuasi kurang dari 10 % untuk melanjutkan ke tahap *running*. Pada hari ke-13 (hari ke-5 setelah penambahan akhir) fluktuasi efisiensi COD tidak lebih dari 10% dan proses dilanjutkan sistem kontinyu.

Kestabilan efisiensi *removal* disebabkan *biofilm* sudah terbentuk dan terletak sempurna pada permukaan elektroda sehingga perombakan substrat terjadi. Perombakan substrat yang membebaskan energi yang disimpan dalam bentuk ATP ini akan menyebabkan adanya tranport elektron dan melalui rangkaian listrik akan terukur nilai voltase dan arus untuk menghitung nilai *power density*.

Dari grafik 1 *power density* mengalami kenaikan dari H0 sampai H3. Penurunan pada pengecekan awal penambahan 50 % dikarenakan bahan makanan yang dibutuhkan bakteri untuk metabolisme dalam penguraian sudah berkurang maka elektron-elektron penghasil listrik juga akan berkurang. Setelah itu ketika penambahan konsentrasi COD, bakteri tersebut mendapat bahan makanan baru kemudian didegradasi kembali untuk diubah menjadi elektron dari pengukuran arus listrik dan voltae listrik kemudian didapat perhitungan daya listrik sebagai nilai *power density*. *Power density*

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

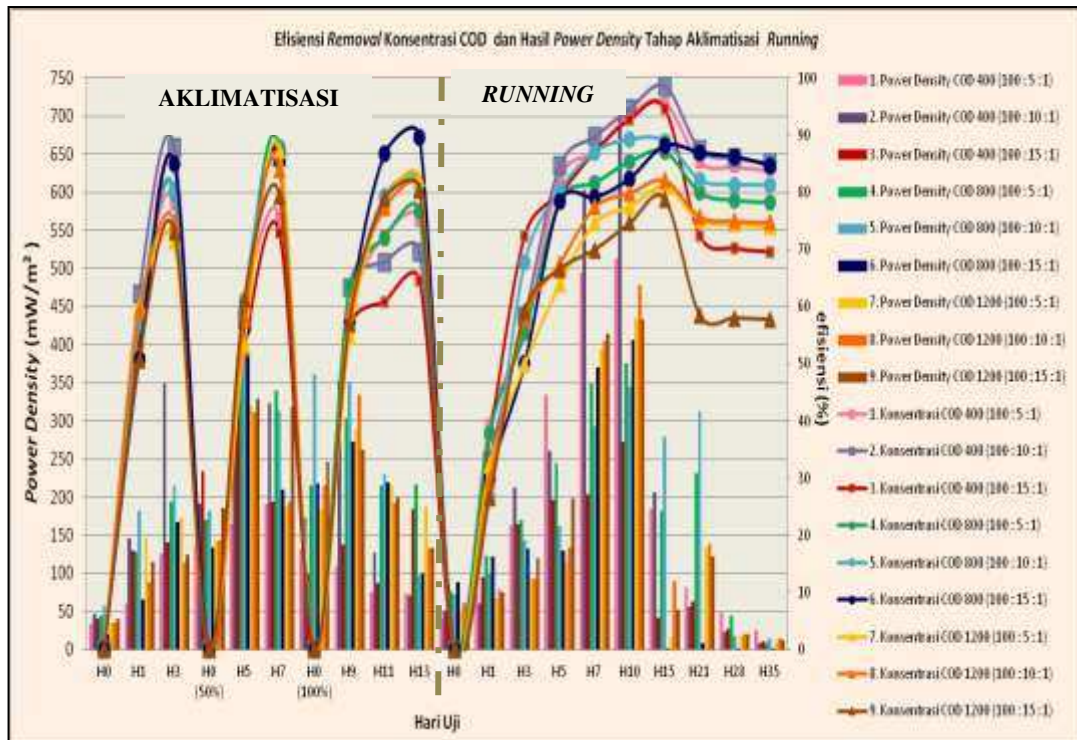
**) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

aklimatisasi tertinggi sebesar 401,963 mW/m² pada H5 COD 800 mg/l.

Tahap *Running*

Menurut Husin (2008) disitasi oleh Yazid (2012) aklimatisasi bisa dilanjutkan ke tahap *running* ditunjukkan pada tiap-tiap konsentrasi telah menunjukkan penurunan COD dengan efisiensi berkisar 50 % - 85 %.

Dari hasil uji COD pada tahap aklimatisasi DCMFCs selama 13 hari secara bertahap pada H+5 setelah penambahan 100 % efisiensi konsentrasi COD paling kecil adalah 64,600 % dan efisiensi paling besar adalah 89,643 % . Setelah itu tahap berikutnya adalah *running* dilakukan secara kontinyu.



Grafik 2. Efisiensi *Removal* COD dan Hasil *Power Density* Aklimatisasi - *Running*

Variasi COD dan Rasio Nutrisi C : N : P

Terhadap DCMFCs

Pada grafik 2 merupakan penggabungan dari nilai efisiensi *removal* konsentrasi COD (%) dan produksi listrik dinyatakan dalam *power density* (mW/m²). Efisiensi *removal* konsentrasi COD terbesar pada hari ke-15 *running* dengan waktu detensi 10 jam. Untuk penentuan nilai optimum didapatkan dari rata-rata kondisi konstan (*steady state*) H15 sampai H35. Konsentrasi COD 400 mg/l memiliki nilai optimum rasio 100 : 5 : 1 penurunan konsentrasi sampai 51,061 mg/l dengan efisiensi *removal* 87,328 %, rasio 100 : 10 : 1 penurunan konsentrasi sampai 43,085 mg/l dengan efisiensi *removal* 89,307 %, rasio 100 : 15 : 1 penurunan konsentrasi sampai 93,985 mg/l dengan efisiensi *removal* 76,674 %.

Konsentrasi COD 400 mg/l rasio 100 : 10 : 1 mencapai keadaan paling optimum pada efisiensi *removal*. Kondisi optimum konsentrasi COD 800 mg/l rasio 100 : 5 : 1 penurunan konsentrasi sampai 154,5308 mg/l dengan efisiensi *removal* 80,993 %, COD 800 mg/l rasio 100 : 10 : 1 penurunan konsentrasi sampai 134,719 mg/l dengan efisiensi *removal* 83,429 %, COD 800 mg/l rasio 100 : 15 : 1 penurunan konsentrasi sampai 109,522 mg/l dengan efisiensi *removal* 86,629 %. Konsentrasi COD 800 mg/l rasio 100 : 15 : 1 mencapai keadaan paling optimum pada efisiensi *removal*. Nilai optimum konsentrasi COD 1200 mg/l rasio 100 : 5 : 1 penurunan konsentrasi sampai

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

**) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

293,2093 mg/l dengan efisiensi *removal* 76,166 %, COD 1200 mg/l rasio 100 : 10 : 1 penurunan konsentrasi sampai 283,9155 mg/l dengan efisiensi *removal* 76,921 %, COD 1200 mg/l rasio 100 : 15 : 1 penurunan konsentrasi sampai 452,4622 mg/l dengan efisiensi *removal* 63,211 %. Konsentrasi COD 1200 mg/l rasio 100 : 10 : 1 mencapai keadaan paling optimum pada efisiensi *removal*.

Pada pengukuran hari ke-21 konsentrasi COD mengalami kenaikan konsentrasi pada semua variasi variasi C : N : P. Naiknya konsentrasi COD ini dapat disebabkan karena kondisi perbedaan tekanan pada sel bakteri di *biofilm* yang lebih tinggi karena proses difusi, yang disebabkan oleh tranport massa substrat dan nutrisi dari limbah ke bakteri. Karena tekanan terlalu tinggi dapat menyebabkan rusaknya sel bakteri. Kenaikan konsentrasi tersebut menurut Doraja P.H (2012) penurunan nilai COD pada perlakuan diduga karena terjadi peningkatan biomassa mikroorganisme. Kenaikan nilai COD disebabkan oleh semakin banyaknya biomassa yang terbentuk akibat pertambahan sel sehingga bahan organik yang harus didegradasi pun akan bertambah dengan sendirinya.

Hasil optimum *power density* konsentrasi COD 400 mg/l masing-masing adalah rasio 100 : 5 : 1 sebesar 170,806 mW/m², rasio 100 : 10 : 1 sebesar 199,9 mW/m², rasio 100 : 15 : 1 sebesar 82,795 mW/m². *Power density* COD 800 mg/l masing-masing adalah rasio 100 : 5 : 1 sebesar 168,389 mW/m², rasio 100 : 10 : 1 sebesar 194,155 mW/m², rasio 100 : 15 : 1 sebesar 83,780 mW/m². *Power density* COD 1200 mg/l masing-masing adalah rasio 100 : 5 : 1 sebesar 121,975 mW/m², rasio 100 : 10 : 1 sebesar 148,266 mW/m², rasio 100 : 15 : 1 sebesar 127,770 mW/m². Dari hasil perbandingan efisiensi maksimum tiap COD, nilai efisiensi 400 mg/l memiliki nilai atau kondisi paling optimum diantara COD 800 mg/l dan 1200 mg/l dan paling rendah adalah 1200 mg/l. Dapat di simpulkan dari perbandingan tersebut bahwa nilai konsentrasi COD pembebanan paling kecil menghasilkan hasil akhir konsentrasi COD terkecil dan efisiensi paling besar diantara nilai COD lainnya. Menurut Sibel Aslan dan Nusret Sekerdag (2008) bahwa tingkat efisiensi COD menurun bila tingkat

pembebanan hidrolis dan organik meningkat.

Titik optimum rasio C : N : P adalah 100 : 10 : 1 dengan bahan N adalah KNO₃ dan P pada KH₂PO₄. Penambahan unsur nutrisi N dan P sebagai makronutrien sangat-sangat diperlukan dalam metabolisme bakteri untuk sintesis sel sehingga bakteri mampu merombak senyawa polutan dalam limbah dan menurunkan konsentrasi COD dan membebaskan energi dari perombakan substrat. Menurut Widjaja dan Sunarko (2007) bakteri menggunakan nitrat sebagai unsur nutrisi N dalam penyerapan nutrisi untuk mempercepat metabolisme bakteri pada sintesis protein dalam struktur dan fungsi enzim dalam sel bakteri dan *nucleic acid* (DNA dan RNA). Kemudian fosfat sebagai unsur nutrisi P dalam KH₂PO₄ menurut Widjaja dan Sunarko (2007) dalam sel bakteri untuk sintesis ATP, *nucleic acid*, dan membran sel. Kemampuan ion nitrat sebagai penerima elektron ini digunakan dalam proses pengolahan air limbah anaerob.

Produksi listrik yang dihasilkan tahap *running* COD 400 mg/l rasio 100 : 10 : 1 adalah kondisi optimum dalam menghasilkan produksi listrik optimum 199,9 mW/m². Hasil ini kurang sesuai asumsi bahwa hasil degradasi mg/l COD terbesar pada 1200 mg/l karena memiliki konsentrasi yang besar sehingga substrat yang terdegradasi juga semakin besar walaupun efisiensi *removal* paling rendah.

Beberapa kemungkinan dapat terjadi pada jika COD 400 mg/l menjadi konsentrasi dengan nilai *power density* tertinggi. Pengaruh *biofilm* yang dihasilkan pada 1200 mg/l lebih tebal karena selisih terdegradasinya bahan lebih banyak daripada yang konsentrasi yang lebih rendah sehingga dapat menghalangi transfer elektron sehingga listrik yang dihasilkan lebih kecil. Menurut Zahara (2011) disitasi oleh Novitasari (2011) Terbentuknya *biofilm* ini dapat mengakibatkan peningkatan hambatan dalam di elektoda dan dapat menyebabkan penurunan nilai *power density*.

Selain itu unsur nutrisi N dalam proses katabolisme bakteri penggunaannya sebagai penangkap elektron berkurang karena digunakan bakteri untuk mensintesis protein pada metabolisme sel. COD 1200 mg/l membutuhkan akseptor elektron yang lebih

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

**) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

karen substrat yang dirombak lebih banyak jumlahnya daripada COD 400 ataupun 800 mg/l. Polarisasi pada sistem kemungkinan terjadi karena timbulnya gelembung-gelembung gas H_2 pada kutub positif. Gas hidrogen dari hasil perombakan substrat tidak dapat bersenyawa dengan bahan elektroda, akibatnya menghalangi jalannya aliran listrik. Korosi dari elektroda, kabel, jepit buaya pada rangkaian listrik termasuk faktor penghambat timbulnya arus listrik.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

1. Pemberian variasi konsentrasi COD dan rasio C : N : P mempengaruhi tingkat efisiensi *removal* konsentrasi COD yang disisihkan. Efisiensi *removal* konsentrasi COD optimum adalah 89,307 % pada variasi COD 400 mg/l rasio 100 : 10 : 1, 86,629 % untuk COD 800 mg/l rasio 100 : 15 : 1, dan 76,921 % untuk COD 1200 mg/l rasio 100 : 15 : 1. Nilai *power density* paling besar COD 400 rasio 100 : 10 : 1 sebesar 199,9 mW/m², COD 800 mg/l rasio 100 : 10 : 1 sebesar 194,155 mW/m², rasio 100 : 10 : 1 sebesar 148,266 mW/m². Hasil produksi listrik tidak sesuai dengan teori penelitian terdahulu bahwa peningkatan konsentrasi COD menghasilkan peningkatan ada produksi listrik (*power density*) karena penelitian ini konsentrasi COD terkecil menghasilkan listrik (*power density*) terbesar.
2. Kondisi optimum konsentrasi COD dan rasio C : N : P adalah COD 400 mg/l rasio 100 : 10 : 1 ditentukan dari efisiensi *removal* konsentrasi COD dan pengukuran *power density* paling optimum.

Implikasi

1. Penerapan penelitian terhadap adanya teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) sebagai pengolahan limbah ramah lingkungan dan penerapan hasil penelitian dapat digunakan sebagai saran penggunaan konsentrasi yang dapat digunakan dalam MFC sehingga kinerja MFC sebagai pengolahan limbah dan produksi listrik optimal.

Saran

1. Sebagai pengolahan limbah cair, harus ada pengolahan cara lain / tambahan agar

manfaatnya sebagai pengolahan limbah berlangsung lebih maksimal.

2. Sebagai penghasil produksi listrik harus memperhatikan mengenai faktor penghambat dari timbulnya produksi listrik seperti kondisi *biofilm* dan faktor internal resisten lainnya dalam sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Davies, Peter Spencer. 2005. *The Biological Basis of Wastewater Treatment*. Strathkelvin Instruments Ltd. (www.strathkelvin.com, 2014)
- Doraja PH, Shovitri M, Kuswytasari ND. 2012. *Biodegradasi Limbah Domestik dengan Menggunakan Inokulum Alami dari Tangki Septik*. Jurnal Sains dan Seni ITS Vol.1 No1, (sept, 2012) ISSN : 2301-928X. (<http://ijabb.dce.edu/volumes/paper4.pdf>, 2014)
- Ghangrekar M.M and Shinde V.B. 2003. *Microbial Fuel Cell : A New Approach of Wastewater Treatment With Power Generation*. University Grants Commission : New Delhi. Nomor. 14 - 10/2003. (<http://www.microbialfuelcell.org/publications/env-ce-iitkgp/p-37-mfc-mm-g.pdf>, 2014)
- Herald, Denny. 2010. *Pengaruh Variasi Rasio Waktu Reaksi terhadap Waktu Stabilisasi pada Penyisihan Senyawa Organik dari Air Buangan Pabrik Minyak Kelapa Sawit dengan Sequencing Batch Reaktor Aerob*. (<http://repository.unand.ac.id>, 2014)
- Indriyati. 2003. *Unjuk Kerja Reaktor Anaerob Lekat Diam Terendam dengan Media Penyangga Potongan Bambu*. Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Vol.8 No. 3 Hal 217-222. ISSN 1441-318X. (www.ejurnal.bppt.go.id, 2014)
- Kim H.J, Kim BH, Park HS, Kim GT, Chang IS, Lee J, Phung NT. 2004. *Enrichment of Microbial Community Generating Electricity Using a Fuel Cell Type Electrochemical Cell*. Appl. Microbiol Biotechnol 63 (6) : 672

- 681. (www.microbialfuelcell.org, 2014)
- Li, Baikun. Karl, Scheible. Michael, Curtis. 2011. *Electricity Generation From Anaerobic Wastewater Treatment In Microbial Fuel Cells*. NYSERDA : USA. (<http://www.unboundmedicine.com/>, 2014)
- Novitasari, Deni. 2011. *Optimasi Microbial Fuel Cell (MFC) untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri Lactobacillus Bulgaricus*(Skripsi). Fakultas Teknik Universitas Indonesia Departemen Teknik Kimia : Depok. (<http://lontar.ui.ac.id/>, 2014)
- Titiresmi. 2007. *Penurunan Kadar COD Air Limbah Industri Permen dengan Menggunakan Reaktor Lumpur Aktif*. Jurusan Teknik Lingkungan Vol.8 No.2 Hal 91-96 Mei 2007 ISSN 14441 - 318. (<http://ejurnal.bppt.go.id/>, 2014)
- Widjaja TS, Lindu. 2008. *Pengaruh Perbandingan Nutrisi Terhadap Pengolahan Minyak Secara Biologis Dengan Bakteri Mixed Culture*. Jurusan Teknik Kimia Indonesia Vol. 6 No. 2 Agustus 2007 : 753-760. (<http://idci.dikti.go.id/>, 2014)
- Yazid, Fauzia R. 2012. *Pengaruh Variasi Konsentrasi dan Debit pada Pengolahan Air Artifisial (Campuran Grey Water dan Black Water) Menggunakan Reaktor UASB*. Vol. 9 No.1 Maret 2012, ISSN 1907 -187X. (<http://eprints.undip.ac.id/>, 2014)

*) Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang

**) Dosen Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP Semarang